

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-054773

(43)Date of publication of application : 24.02.1998

(51)Int.Cl.

G01L 23/10

G01L 9/08

G01L 23/22

G01L 27/00

(21)Application number : 08-242443

(71)Applicant : EE II SYST KK

(22)Date of filing : 12.08.1996

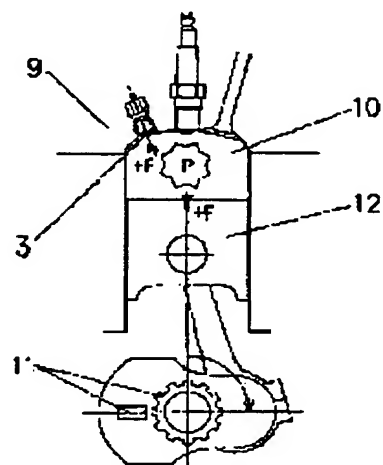
(72)Inventor : YOKOYAMA HAJIME  
YOKOYAMA HIROSHI

## (54) PRESSURE MEASURING SENSOR USABLE IN HIGH TEMPERATURE ENVIRONMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a pressure sensor capable of easily measuring pressure, which is very compact, light in weight and has a simple construction, high durability, and low in price, and requiring no additional device such as cooling device even in a high temperature environment.

**SOLUTION:** This pressure sensor can directly measure combustion pressure  $P$  of an internal combustion engine generated by burning fuel mixture of gasified gas at a high temperature of  $1000^{\circ}\text{C}$  or higher without additional device such as cooling device and output a charge signal which is in proportion to the pressure at speed of  $1\mu\text{s}$ , so that the signal is converted into a voltage signal by a charge amplifier and its signal value is read out by an induced unit  $\text{Pa}$  of the pressure and at the same time combustion waveform for determining condition of combustion (normal or abnormal) can be monitored by a self diagnostic system.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3256799

[Date of registration]

07.12.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**Japanese Laid-Open Patent Publication No.  
54773/1998 (Tokukaihei 10-54773)**

**A. Relevance of the Above-identified Document**

The following is a partial English translation of exemplary portions of non-English language information that may be relevant to the issue of patentability of the claims of the present application.

**B. Translation of the Relevant Passages of the Document**

See the attached English Abstract.

[0004]

[MEANS TO SOLVE THE PROBLEMS]

In order to directly measure a state of a pressure peak generated in a combustion chamber of an internal-combustion engine, it is desirable that a pressure sensor be installed in the combustion chamber. However, since a temperature at which an air-fuel mixture burns exceeds 1000°C, the sensor per se needs to withstand high temperatures. A monocrystalline material, such as a crystal, lead zirconate titanate, or zirconic acid, which has been conventionally used as a piezoelectric element has a low Curie point (or temperature) of 320 to 550°C. A Curie point of a material differs from a melting temperature or melting point of the material, but means a temperature at which a crystal state of the material is changed by

increased temperatures to cause the material to lose a piezoelectric property. Needless to say, the material cannot be used at the high temperature generated when the air-fuel mixture burns in the combustion chamber. According to the present invention, a langasite ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) monocrystalline material having no Curie point is used to directly measure a state of a pressure peak generated in a combustion chamber. The monocrystalline material according to the present invention has a melting point and a Curie point as shown below.

Monocrystalline Material	Curie Point	Melting Point
Langasite ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )	No phase transition	1470°C

... Fig. 3 shows a basic arrangement of a pressure-detecting monocrystalline piezoelectric element sensor according to the present invention. That is, in Fig. 3, the pressure-detecting monocrystalline piezoelectric element sensor includes (i) two monocrystalline piezoelectric elements 1, (ii) an electrode 2, interposed between the two monocrystalline piezoelectric elements, which takes out a charge signal, (iii) a diaphragm 3 for transmitting force or pressure to the piezoelectric elements, (iv) an insulative material 4, and (v) a housing 5, housing the piezoelectric elements and the insulative material 4, which is arranged so as to screw the entire

sensor into a cylinder head of an internal-combustion engine. As shown in Fig. 3, the pressure-detecting monocrystalline piezoelectric element sensor according to the present invention is arranged so that the two monocrystalline piezoelectric elements 1 are aligned in a direction in which a mechanical load acts, and the diaphragm 3 transmits a pressure fluctuation due to combustion to the piezoelectric elements so as to generate a charge signal, and the electrode 2 takes out the charge signal.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-54773

(43) 公開日 平成10年(1998) 2月24日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 23/10			G 0 1 L 23/10	
9/08			9/08	
23/22			23/22	
27/00			27/00	

審査請求 未請求 請求項の数2 書面 (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-242443

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月12日

(71) 出願人 591138692

エー・イー・システム株式会社

埼玉県浦和市大字下大久保773番地 (501)

(72) 発明者 横山 肇

東京都世田谷区下馬6丁目7番地10号

(72) 発明者 横山 宏

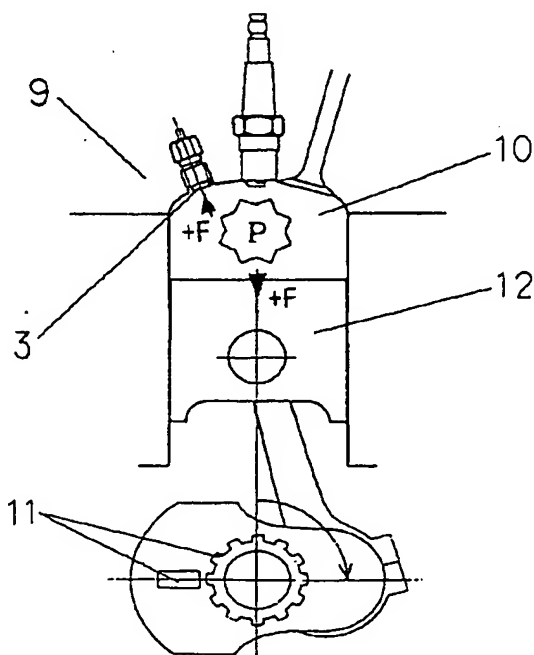
埼玉県浦和市大字下大久保773番地 (501)

(54) 【発明の名称】 高温度中で使用できる圧力計測用センサ

(57) 【要約】 (修正有)

【解決手段】 ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) やランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) のようにキュリー点が非常に高い、またはその物質の融点に到達するまでキュリー点が存在しない単結晶電子材料を圧電素子とし、その圧電素子を内燃機関の燃焼室10内に取り付け可能な形状のハウジングに収納し圧力センサを構成する。

【効果】 この圧力センサは燃料混合気化ガスを1000℃以上の高温で燃焼させることにより発生する内燃機関の燃焼圧力Pを冷却等の付加装置なしに直接計測することができ、圧力に比例した電荷信号を1μsの速さで出力するのでチャージアンプにより電圧信号に変換し、その信号値を圧力の誘導単位(Pa)で読み取り、また同時に自己診断システムにより燃焼の状態(正常または異常)を判断するための燃焼波形をモニタすることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 キューリー点が非常に高い、またはその物質の融点に到達するまでキューリー点が存在しないことを特徴とするニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) またはランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) 等の置換型結晶材料を、結晶学上の座標軸Xにしたがって切断し、正しく平行な2つの面を有するチップ状に形成した圧電素子。

【請求項2】 ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) またはランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) 等の単結晶材料を座標軸Xにしたがって切断し形成した圧電素子の表面に、圧力または力のような機械的負荷を与えると、作用した機械的負荷の合計に直接比例して電荷が印刷される。平行した圧電素子の両面に正の方向の機械的負荷（圧縮方向の負荷）が加わった場合、ある面に+の電荷が発生すれば平行する反対側の面には-の電荷が現れ、逆に負の方向（引っ張りの方向）の機械的負荷が作用したときには極性が反転し-の電荷が現れ、反対側の面には+の電荷が印刷される。この特性を利用し圧電素子を機械的負荷が作用する方向に整列させ、それらの単結晶電子材料のキューリー点または融点以内で機械的負荷を加えた場合、そこに発生した電荷量と極性を測定してニュートン (N)、パスカル (Pa)、またはKgf、などの種々の誘導単位に変換し、機械的負荷の大きさと方向を計測するようにした圧力または力センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本案によるセンサは高温中で使用できるので、各種内燃機関の燃焼室内に直接取り付け、燃焼に伴い発生する燃焼圧を常時計測するための圧力センサに利用すれば内燃機関の下記項目の制御および検出が可能になる。

1. ノック検知（正常燃焼波形と非正常燃焼のモニタによる波形比較）。
2. EGR（排気ガス還流）制御。
3. MBT（最大トルクのための最小進角電気位置）制御。
4. 失火検出（アイドリング時、エンジンプレーキ走行時における）。
5. 最適混合比制御（トルク変動の即時検出によるリーンバーン制御）。
6. 排ガス対策。

内燃機関における利用以外に、原子力反応装置内における高温中の圧力変動状態をセンサの冷却なしに直接計測することができる。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、圧力または力を計測するためには作用した機械的負荷によってセンサ自体が変形し、その変形量を計測するいわゆる歪ゲージと、機械的負荷を圧電素子に作用させて電荷を発生させる圧電センサが用い

られている。一般に前者は圧力または力の変化が遅い状態、すなわち静的測定に適し、後者は圧力または力が急激に変化するような状態、すなわち連続する動的圧力ピークの計測に適しているといえる。しかしながら両者とも使用温度範囲に限界があり、特に圧電センサの高温領域における使用温度の限界は圧電素子自体のキューリー点により制約を受け決定される。通常それらは下記に示す範囲のため現状ではセンサ自体を燃焼室内に直接取り付け使用することができない。

単結晶電子材料の種類	キューリー温度
チタン酸ジルコン酸鉛 . . . . .	320℃
チタン酸鉛 . . . . .	490℃
水 晶 . . . . .	550℃

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 通常の温度範囲における圧力または力を圧電センサにより計測することは、センサ自体の変位がなく、応答速度が速く、小型である等の優れた特性によりしばしば使用される。しかしセンサ素子のキューリー温度を越えて使用することはできないため内燃機関の燃焼室内で混合気が爆発する際の1000℃を超える高温中の気圧（燃焼圧）変動を直接測定するような目的は達成できない。この場合対策として圧力センサの周辺を冷却するための水冷式アダプタを使うか、圧力センサを温度の低い場所に取り付け、燃焼室からセンサまでを導管で連結し温度を低下させてから発生した圧力ピークを検出する方法が採られている。これらの方法における欠陥は水冷方式は装置が大掛かりになり内燃機関を床上でテストするような場合には使うことができるが、車載状態での使用は極めて困難である。また燃焼室からセンサまでを圧力導管で連結する方式は応答が遅れること、長期間の使用で導管の内部にカーボン等が付着して精度のよい計測ができなくなる等の欠陥がある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 内燃機関の燃焼室内で発生する圧力ピークの状態を直接計測するためには圧力センサを燃焼室内に設置することが望ましい。しかし燃焼室内で混合気が燃焼する際の温度は1000℃を超えるため、センサ自体が高温に耐えられるものでなければならぬ。従来、圧電素子として一般に使用されている水晶、チタン酸ジルコン酸鉛、チタン酸等単結晶材料のキューリー点（または温度）はいずれも320～550℃程度と低い。キューリー点とはその物質の溶解温度または融点と異なり、加わった温度により結晶状態が変化して圧電効果が得られなくなる温度を指しており、当然燃焼室内で混合気が燃焼する際に発生する高温中では使用できない。本案においてはキューリー点が非常に高いニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )、またはキューリー点が存在しないランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )

○、 $\Delta$ ) 単結晶材を圧電素子に使うことにより燃焼室内で発生する圧力ピークの状態を直接計測するものであ

単結晶材料名

ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )  
ランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )

キュリー点

1200℃  
相転移無し

融点

1253℃  
1470℃

一般に単結晶材の結晶学的軸X、YおよびZの3軸のうちX、Yの2軸については電氣的軸と呼ばれZは光学的軸と呼ばれている。単結晶材は与えられた機械的な負荷に対し、それ自体が有する圧電効果により電荷を発生するが、具体的に述べれば結晶のY軸に対しX軸の方向に機械的負荷を与えればY軸の両面に電荷を発生(縦軸効果)し、同じくX軸に対しY軸の方向に機械的負荷を与えればX軸の両面に電荷を発生(横軸効果)する。図1は結晶学的軸Xにしたがってカットされた単結晶圧電素子1に対して機械的負荷Fの加わる方向と圧電素子上に発生する電荷qを示している。すなわち図1では負荷F※

単結晶材料名

ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) . . . . . 6 pC/N  
ランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) . . . . . 4 pC/N  
水 晶 . . . . . 2 pC/N (参考値)

すなわち縦軸効果において電荷qは、作用した機械的負荷の合計に直接比例して負荷が作用した圧電素子の表面に現れ、その量は圧電素子の大きさや形状に無関係で、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) においては1ニュートン当たり6ピコクーロンの電荷が現れ、ランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) においては1ニュートン当たり4ピコクーロンの電荷が、また、ちなみに水晶においては1ニュートン当たり2ピコクーロンの電荷を発生する。図3は本案における圧力検出用単結晶圧電素子センサの基本的な構成を示している。即ち図3では2枚の単結晶圧電素子1、2枚の単結晶圧電素子の間に挟み電荷信号を取り出すようにした電極2、力または圧力を圧電素子に伝達するダイヤフラム3、圧電素子および絶縁材4を内蔵し、センサ全体を内燃機関のシリンダヘッド部分にネジ込みできるようにしたハウジング5である。本案による圧力検出用単結晶圧電素子センサは図3に示すように2枚の単結晶圧電素子1を機械的負荷が作用する方向に整列させ、ダイヤフラム3により燃焼による圧力変動を圧電素子に伝達し電荷信号を発生させ、その電荷信号を電極2で取り出すようにした構造を特徴とするものである。

【0005】

【作 用】 圧電センサは機械的負荷が圧電素子に作用することにより素子の結晶が変形し、素子表面の変形量に応じて電荷エネルギーが帯電するのでその電荷量を計測して機械的負荷の単位 (N、Pa、Kg f等) に換算することを原理としているが、実際には帯電した電荷エネルギーを直接取り扱うことは困難なためチャージ

する。それぞれの単結晶材の融点ならびにキュリー点を下記に示す。

※が圧電素子1に対して圧縮力(正の方向)+Fとして作用した場合、素子のある面に正の極性+qの電荷が現れれば素子の反対側(裏側)の面には負の極性-qが現れる状態を示している。図2は機械的負荷Fが逆に引っ張り方向(負の方向)-Fに作用した場合に圧電素子上に発生する電荷の極性が逆転して-qで現れ、同時に反対側(裏側)の面には正の極性+qが現れる状態を示している。次に本案において使用される単結晶材料の縦軸効果における公称感度を示す。また比較のため従来一般的に圧電素子として使用されている水晶の縦軸効果における公称感度を示す。

ニュートン当たりの電荷量

ンプを介在させて取り扱いの容易な電圧信号に変換しなければならない。帯電した電荷の放電を防ぐためにセンサ素子自体、センサハウジング、電気コネクタ、およびチャージアンプに至るまでの接続ケーブルなど系全体を構成する各要素の絶縁抵抗は高く保たねばならない。図4は本案による圧力検出用単結晶圧電素子センサとチャージアンプの構成を示すものである。2枚の単結晶圧電素子1は帯電する電荷の同極側を向かい合わせにすることにより同一の機械的負荷にたいし2倍の電荷感度(2xq)が得られる。いま機械的負荷が加わると圧電素子1の表面に機械的負荷に直接比例した量の帯電がおこなわれる。帯電した電荷は一度コンデンサ6に蓄えられた後、固定抵抗7を通じて放電する。この場合蓄えられる電荷が正(+)であるか負(-)であるかは、素子に作用する機械的負荷が正圧(圧縮)方向であるか、負圧(引っ張り)方向であるかにより決定される。コンデンサ6の電気容量と固定抵抗7の電気抵抗により回路の時定数が決定され、それに伴い放電時間が決定される。図4の8はMo sトランジスタを示し、コンデンサ6に蓄えられた電荷エネルギーを電氣量に変換し取り扱いの容易なアナログ電圧として出力する。本案による圧力検出用単結晶圧電素子センサは上に述べられたチャージアンプに接続されているので圧電素子センサに基準圧力を与え、それに伴って出力する電氣信号を調整すれば圧電素子センサとチャージアンプによる測定系の系全体は基準圧力により校正することができる。したがって本圧力センサを燃焼室に直接取り付ければ、燃焼に伴う圧力の変動を圧力に直接比例した電氣信号に変換して出力させる

ことができるのでMPa、barのようなそれぞれの誘導単位の値で計測できる。

【0006】

【実施例】図5は本案による圧力センサを内燃機関のシリンダヘッド9の燃焼室10に取り付けた状態を示す。本案による圧力センサはキューリー点が非常に高い、または相転移が存在しない圧電素子を使用することにより図5のように圧力センサの感圧部すなわちダイアフラム3をシリンダヘッド9より燃焼室10内に露出させた状態で稼働させることができ、燃焼の際に発生する圧力負荷Pを直接圧電素子に伝達することができる。この構成は機械的負荷の変化を極めて短い振動系で伝達するのでセンサ自体の共振周波数が高く、応答速度が速く、広いダイナミックレンジを獲得できる利点がある。したがって圧力ピークの正確な計測と燃焼波形のモニタ、トルク変動の判別が可能になる。燃焼室10内で発生し圧力センサに与える機械的負荷は、燃焼による圧力負荷Pが一番大きいと考えられるが、アイドル回転時、エンジンブレーキ状態における回転時等では大きな燃焼圧は発生せず吸気、排気の際に発生する圧力変動と区別しにくい。したがって燃焼による圧力変動のみを正確に計測するためにこのシステムでは、クランク軸の回転角を計測して特定の角度においてチャージアンプ回路のリセットと燃焼圧信号の読み込みをするよう回転角検出用ロータリィエンコーダ11を備え作動信号を出すようにしている。

【0007】

【発明の効果】本案による圧力センサは極めて小型で軽量、簡単な構造、耐久性、低価格、さらに高温度の環境下でも冷却等の付加装置を必要とせず容易に圧力計測ができることを特徴としている。ここで使用される圧力検出用単結晶圧電素子の機械的強度、または耐圧は素子の面積 $10\text{mm}^2$ にたいし $150\text{bar}$ であり、この値は通常排気量 $2000\text{cc}$ 程度の排気量のエンジンにおける燃焼圧に相当する。したがってこの圧力センサは小型化でき、特に取り付け部分のネジ外径はM10相当とすることができ、実際の使用に際してはエンジンのシリンダヘッド部分にM10程度のネジ穴を加工するだけでセンサの取り付けができるため車載の状態で内燃機関燃焼室内の燃焼圧の計測、燃焼波形のモニタを行うことができる。本案による圧力センサは燃焼圧の計測と同時に燃焼波形のモニタが可能なのでこの機能をノッキング検出として使うことができる。すなわちノッキングとは負荷変動に伴うトルク変動に対し点火時期が追従せず燃焼室内で異常燃焼がおこりエンジン全体が異常振動する状態である。従来のノッキング検出は加速度センサにより異常振動を検知するようにしている。しかしエンジン自体はクランク軸やカム軸の回転、それに伴う弁の開閉（打弁振動）、吸気、爆発、排気等常に振動を発生しているため、加速度センサにより異常燃焼による異常振動

だけを検出するのは困難である。一般にはクランク軸に回転角エンコーダを取り付けクランク軸角が爆発の行程に入ったタイミングで加速度センサからの信号を受け取るようにしている。本案による圧力センサは燃焼波形を直接モニタすることができるのでトルク変動に伴う異常燃焼を燃焼波形の異常として検出します。特に省エネルギーを目的とした希薄燃焼方式の内燃機関においては燃焼圧センサを使ってトルク変動を直接検知し、希薄燃焼限界のためのMBT（最大トルクののための最小進角電気位置）制御を容易におこなうことができる。排気量の増加または加給器付き内燃機など機械的負荷の増加（燃焼圧の増加）に対しては素子面積の拡大、すなわち燃焼圧センサの大型化により対応する必要がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】単結晶圧電素子1に対して圧縮方向の機械的負荷（+F）が作用した場合に素子表面に発生する電荷とその極性+qを示す。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【図2】単結晶圧電素子1に対して引っ張り方向の機械的負荷（-F）が作用した場合に素子表面に発生する電荷とその極性-qを示す。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【図3】本発明における単結晶圧電素子1、電荷qを取り出すための金属薄膜電極2、およびセンサハウジング3の構成を示す。この構成においては2枚の単結晶圧電素子1を向かい合わせ（2枚1組=一对）、金属薄膜電極2を間に挟んで配置しているので圧縮方向の機械的負荷（+F）が作用した場合、それぞれの素子表面に発生した電荷qは2倍の電荷感度で取り出すことができる。すなわち金属薄膜電極2に $2x-q$ が印刷されればセンサハウジング3には $2x+q$ が印刷される。

【図4】本案による圧力検出用単結晶圧電素子センサ1（2枚1組=一对）と電極2により発生した電荷を取り出し取扱の容易なアナログ信号電圧に変換するチャージアンプの構成を示す。チャージアンプはコンデンサ6、固定抵抗7、MOSトランジスタ8により構成する。図では圧電素子センサ1に正の圧力+Fが負荷され、電極2に電荷 $2x-q$ が帯電した状態を示している。

【図5】圧力センサを内燃機関のシリンダヘッド9の燃焼室10に取り付けた状態、ならびにクランク軸に回転角検出用ロータリィエンコーダ10を備えた燃焼圧および燃焼波形検出システムを示す。シリンダヘッド9の燃焼室10において混合気の燃焼によって燃焼圧力負荷Pが発生し、ピストン12と圧力センサのダイアフラム3に+Fの圧力が作用した状態を示す。

【符合の説明】

- 1 単結晶圧電素子
- 2 電 極
- 3 ダイアフラム
- 4 絶 縁 材



(5)

特開平10-54773

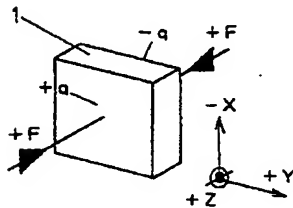
8

- 5 ハウジング  
6 コンデンサ  
7 固定抵抗  
8 Mosトランジスタ  
9 内燃機関のシリンダヘッド  
10 燃焼室  
11 回転角検出用エンコーダ  
12 ピストン

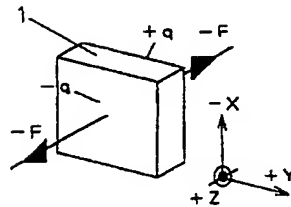
- \* +F 圧縮方向の機械的負荷（この場合主に圧力）が作用した状態  
-F 引っ張り方向の機械的負荷（この場合主に圧力）が作用した状態  
+q 正の極性を有する電荷  
-q 負の極性を有する電荷  
P 混合気の燃焼によって発生した燃焼圧力負荷

\*

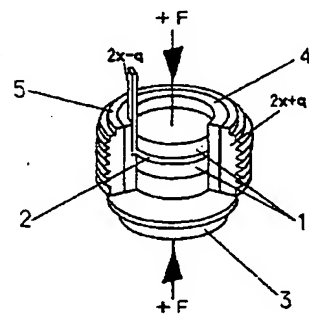
【図1】



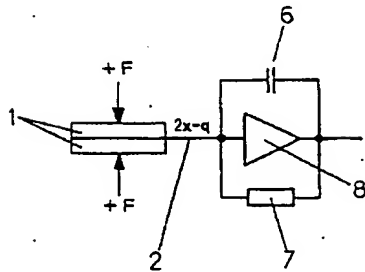
【図2】



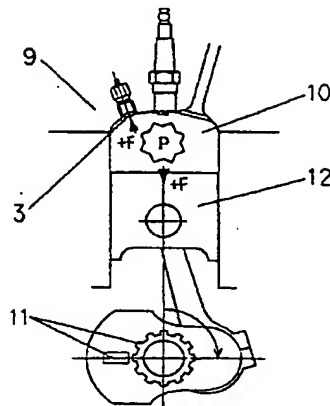
【図3】



【図4】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成9年7月15日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 キュリー点が非常に高い、またはその物質の融点に到達するまでキュリー点が存在しないことを特徴とするニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) また

はランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_3\text{SiO}_{14}$ ) 等の置換型結晶材料を、結晶学上の座標軸Xにしたがって切断し、正しく平行な2つの面を有するチップ状に形成した圧電素子。

【請求項2】 ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) またはランガサイト ( $\text{La}_3\text{Ga}_3\text{SiO}_{14}$ ) 等の単結晶材を座標軸Xにしたがって切断し形成した圧電素子の表面に圧力または力のような機械的負荷を与えると、作用した機械的負荷の合計に直接比例して電荷が印刷される。平行した圧電素子の表面にXの方向の機械的負荷

(圧縮方向の負荷) が加わった場合、ある面に+の電荷が発生すれば平行する反対側の面には-の電荷が現れ、逆に負の方向(引っ張りの方向)の機械的負荷が作用したときには極性が逆転し-の電荷が現れ、反対側の面には+の電荷が印刷される。この特性を利用し圧電素子を機械的負荷が作用する方向に整理させ、それらの単結晶電子材料のキューリー点または融点以内で機械的負荷を加えた場合、そこに発生した電荷の量と極性を測定してニュートン(N)、パスカル(Pa)、またはKgf、など種々の誘導単位に変換し、機械的負荷の大きさと方向を測定するようにした圧力または力センサ。

【請求項3】 ランガサイト( $\text{La}_2\text{Ga}_2\text{SiO}_7$ )もしくはニオブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ )等の単結晶材料を結晶学上の座標軸Xにしたがって切断し形成した圧電素子の両端面に圧力もしくは力のような機械的負荷を与えると圧電素子の平行した両側面、すなわちX軸に対するY軸方向の両側面に電荷が印刷される。

いま圧電素子の両端面に正の方向(圧縮方向)の機械的負荷が加わり、平行する二つの側面の一方の側に+の電荷が発生すれば反対側の側面には-の電荷が発生する。またこれと逆に圧電素子の両端面に負の方向(引っ張りの方向)の機械的負荷が作用すると電荷の極性が逆転し+の電荷が現れた側面には-の電荷が、-の電荷が現れた反対側の側面には+の電荷が発生する。この特性を利用し圧電素子のX軸に直交するZ軸方向の両端面に機械的負荷を作用させるように配置し、発生した電荷の量と極性から負荷の大きさと方向を計測するようにした圧力または力センサ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図6

【補正方法】追加

【補正内容】

【図6】圧電素子1に対して圧縮方向の機械的負荷(+F)が作用した場合に素子の側面に発生する電荷とその極性+qおよび反対側の面に発生する電荷の極性-qの状態を示す。学術的には横軸効果による圧電現象と称される。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。ちなみに図1および図2は縦軸効果による圧電現象と称し、電荷は与えられた機械的負荷の合計に直接比例して素子の表面に現れ電荷の量(公称電荷感度)は素子の大きさや形状に関係なくニオブ酸リチウムにおいては $6\text{ pC/N}$ 、ランガサイトにおいては $4\text{ pC/N}$ である。これに対し

横軸効果による電荷感度は縦軸効果と異なり素子の大きさや形状に関係しX寸法に対するY寸法の比に依存する。一般に横軸効果の電荷感度は縦軸効果に比較し50倍またはそれ以上が得られる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図7

【補正方法】追加

【補正内容】

【図7】圧電素子1に対して引っ張り方向の機械的負荷(-F)が作用した場合に素子の側面に発生する電荷とその極性-qおよび反対側の側面に発生する電荷の極性+qの状態を示す。学術的表現では横軸効果による圧電現象と称される。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【手続補正4】

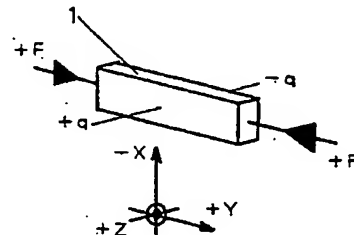
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図6

【補正方法】追加

【補正内容】

【図6】



【手続補正5】

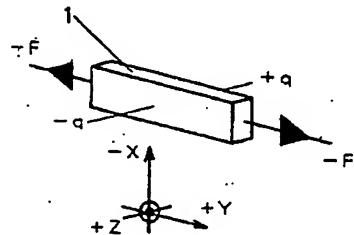
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】追加

【補正内容】

【図7】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
【部門区分】第6部門第1区分  
【発行日】平成12年12月15日(2000.12.15)

【公開番号】特開平10-54773  
【公開日】平成10年2月24日(1998.2.24)  
【年通号数】公開特許公報10-548  
【出願番号】特願平8-242443  
【国際特許分類第7版】

G01L 23/10  
9/08  
23/22  
27/00

【FI】

G01L 23/10  
9/08  
23/22  
27/00

【手続補正書】

【提出日】平成11年9月6日(1999.9.6)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】高温中で使用できる圧力計測用センサ

【特許請求の範囲】

【請求項1】その物質の融点に到達するまでキューリー点が存在しないことを特徴とする置換型結晶材料のランガサイト( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )を、結晶学上の座標軸Xにしたがって切断し、正しく平行な2つの面を有するチップ状に形成した圧電素子を備えたことを特徴とする高温中で使用できる圧力計測用センサ。

【請求項2】ランガサイト( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )の単結晶材を座標軸Xにしたがって切断し形成した圧電素子の表面に圧力または力のような機械的負荷を与えると、作用した機械的負荷の合計に直接比例した電荷を帯電する。平行した圧電素子の表面に正の方向の機械的負荷(圧縮方向の負荷)が加わった場合、ある面に+の電荷が発生すれば平行する反対側の面には-の電荷が現れ、逆に負の方向(引っ張りの方向)の機械的負荷が作用したときには極性が逆転し-の電荷が現れ、反対側の面には+の電荷を帯電する。この特性を利用し圧電素子を機械的負荷が作用する方向に整列させ、この単結晶電子材料のキューリー点または融点以内で機械的負荷を加え、そこに発生した電荷の量と極性を測定してニュートン(N)、パスカル(Pa)、またはKgf、など種々の誘導単位に変換し、機械的負荷の大きさと方向を測定

するようにしたことを特徴とする高温中で使用できる圧力計測用センサ。

【請求項3】ランガサイト( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ )の単結晶材料を結晶学上の座標軸Xにしたがって切断し形成した圧電素子の両端面に圧力もしくは力のような機械的負荷を与えると圧電素子の平行した両側面、すなわちX軸に対するY軸方向の両側面に電荷を帯電する。いま圧電素子の両端面に正の方向(圧縮方向)の機械的負荷が加わり、平行する二つの側面の一方の側に+の電荷が発生すれば反対側の側面には-の電荷を帯電する。またこれと逆に圧電素子の両端面に負の方向(引っ張りの方向)の機械的負荷が作用すると電荷の極性が逆転し+の電荷が現れた側面には-の電荷が、-の電荷が現れた反対側の側面には+の電荷が発生する。この特性を利用し圧電素子のX軸に直交するZ軸方向の両端面に機械的負荷を作用させるように配置し、発生した電荷の量と極性から負荷の大きさと方向を計測するようにしたことを特徴とする高温中で使用できる圧力計測用センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明によるセンサは高温中で使用できるので、各種内燃機関の燃焼室内に直接取り付け、燃焼に伴い発生する燃焼圧を常時計測するための圧力センサに利用すれば内燃機関の下記項目の制御および検出が可能になる。1. ノック検知(正常燃焼波形と非正常燃焼波形のモニタによる波形比較)。2. EGR(排気ガス還流)制御。3. MBT(最大トルクのための最小進角電気位置)制御。4. 失火検出(アイドル時、エンジンプレーキ走行時における)。5. 最適混合比制御(トルク変動の即時検出によるリーンバーン制

御)。6. 排ガス対策。

【0002】

【従来の技術】従来、圧力または力を計測するためには作用した機械的負荷によってセンサ自体が変形し、その変位量を計測するいわゆる歪ゲージと、機械的負荷を圧電素子に作用させて電荷を発生させる圧電センサが用いられている。一般に前者は圧力または力の変化が遅い状態、すなわち静的測定に適し、後者は圧力または力が急激に変化するような状態、すなわち連続する動的圧力ピークの計測に適しているといえる。しかしながら両者とも使用温度範囲に限界があり、特に圧電センサの高温領域における使用温度の限界は圧電素子自体のキュリー点により制約を受け決定される。通常それらは下記に示す範囲のため現状ではセンサ自体を燃焼室内に直接取り付け使用することができない。

単結晶電子材料の種類	キュリー温度
チタン酸ジルコン酸鉛	320 °C
チタン酸鉛	490 °C
水晶	550 °C

【0003】

【発明が解決しようとする課題】通常の温度範囲における圧力または力を圧電センサにより計測することは、センサ自体の変位がなく、応答速度が速く、小型である等の優れた特性によりしばしば使用される。しかしセンサ素子のキュリー温度を越えて使用することはできないため燃焼室内で混合気が爆発する際の1000°Cを超える高温中の気圧（燃焼圧）変動を直接測定するような目的は達成できない。この場合対策として圧力センサの周辺を冷却するための水冷式アダプタを使うか、圧力センサを温度の低い場所に取り付け、燃焼室からセンサまでを導入管で連結し温度を低下させてから発

\*生した圧力ピークを検出する方法が採られている。これらの方法における欠陥は水冷方式は装置が大掛かりになり燃焼室内を床上でテストするような場合には使うことができるが、車載状態での使用は極めて困難である。さらに、不適切な冷却により燃焼室の温度を下げってしまう弊害も指摘されている。また燃焼室からセンサまでを圧力導入管で連結する方式は応答が遅れること、導入管の径と長さに応じた1次気柱振動数を考慮して測定値を補正しなければならないこと、長期間の使用で導入管の内部にカーボン等が付着して精度のよい計測ができなくなる等の欠陥がある。

【0004】

【課題を解決するための手段】燃焼室内で発生する圧力ピークの状態を直接計測するためには圧力センサを燃焼室内に設置することが望ましい。しかし燃焼室内で混合気が燃焼する際の温度は1000°Cを超えるため、センサ自体が高温に耐えられるものでなければならない。従来、圧電素子として一般に使用されている水晶、チタン酸ジルコン酸鉛、チタン酸等単結晶材料のキュリー点（または温度）はいずれも320~550°C程度と低い。キュリー点とはその物質の溶解温度または融点と異なり、加わった温度により結晶状態が変化して圧電効果が得られなくなる温度（相転移）を指しており、当然燃焼室内で混合気が燃焼する際に発生する高温中では使用できない。本発明においてはキュリー点が存在しないランガサイト（ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ）単結晶材を圧電素子に使うことにより燃焼室内で発生する圧力ピークの状態を直接計測するものである。本発明による単結晶材料の融点ならびにキュリー点を下記に示す。

単結晶材料名	キュリー点	融点
ランガサイト（ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ）	相転移無し	1470 °C

一般に単結晶材の結晶学的軸X、YおよびZの3軸のうちX、Yの2軸については電気的軸と呼ばれZは光学的軸と呼ばれている。単結晶材は与えられた機械的な負荷に対し、それ自体が有する圧電効果により電荷を発生するが、具体的に述べれば結晶のY軸に対しX軸の方向に機械的負荷を与えればY軸の両面に電荷を発生（縦軸効果）し、同じくX軸に対しY軸の方向に機械的負荷を与えればX軸の両面に電荷を発生（横軸効果）する。図1は結晶学的軸Xにしたがってカットされた単結晶圧電素子1に対して機械的負荷Fの加わる方向と圧電素子上に発生する電荷qを示している。すなわち図1では負荷F※

単結晶材料名	ニュートン当たりの電荷量
ランガサイト（ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ）	-8 pC/N
水晶	2 pC/N（参考値）

すなわち縦軸効果において電荷qは、作用した機械的負荷の合計に直接比例して負荷が作用した圧電素子の表面に現れ、その量は圧電素子の大きさや形状に無関係で、

※が圧電素子1に対して圧縮力（正の方向）+Fとして作用した場合、素子のある面に正の極性+qの電荷が現れれば素子の反対側（裏側）の面には負の極性-qが現れる状態を示している。図2は機械的負荷Fが逆に引っ張り方向（負の方向）-Fに作用した場合に圧電素子上に発生する電荷の極性が逆転して-qで現れ、同時に反対側（裏側）の面には正の極性+qが現れる状態を示している。次に本発明において使用される単結晶材料の縦軸効果における公称感度を示す。また比較のため従来一般的に圧電素子として使用されている水晶の縦軸効果における公称感度を示す。

ランガサイト（ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ）においては1ニュートン当たり4ピコクーロンの電荷が、また、ちなみに水晶においては1ニュートン当たり2ピコクーロン

の電荷を発生する。図3は本発明における圧力検出用単結晶圧電素子センサの基本的な構成を示している。即ち図3では2枚の単結晶圧電素子1、2枚の単結晶圧電素子の間に挟み電荷信号を取り出すようにした電極2、力または圧力を圧電素子に伝達するダイヤフラム3、圧電素子および絶縁材4を内蔵し、センサ全体を内燃機関のシリンダヘッド部分にネジ込みできるようにしたハウジング5である。本発明による圧力検出用単結晶圧電素子センサは図3に示すように2枚の単結晶圧電素子1を機械的負荷が作用する方向に整列させ、ダイヤフラム3により燃焼による圧力変動を圧電素子に伝達し電荷信号を発生させ、その電荷信号を電極2で取り出すようにした構造を特徴とするものである。

【0005】

【作用】圧電センサは機械的負荷が圧電素子に作用することにより素子の結晶が変形し、素子表面の変形量に応じて電荷エネルギーが帯電するのでその電荷量を計測して機械的負荷の単位(N、Pa、Kgf等)に換算することを原理としているが、実際には帯電した電荷エネルギーを直接取り扱うことは困難なためチャージアンプを介在させて取り扱いの容易な電圧信号に変換しなければならない。帯電した電荷の放電を防ぐためにセンサ素子自体、センサハウジング、電気コネクタ、およびチャージアンプに至るまでの接続ケーブルなど系全体を構成する各要素の絶縁抵抗は高く保たねばならない。図4は本発明による圧力検出用単結晶圧電素子センサとチャージアンプの構成を示すものである。2枚の単結晶圧電素子1は帯電する電荷の同極側を向かい合わせにすることにより同一の機械的負荷にたいし2倍の電荷感度( $2 \times q$ )が得られる。いま機械的負荷が加わると圧電素子1の表面に機械的負荷に直接比例した量の帯電がおこなわれる。帯電した電荷は一度コンデンサ6に蓄えられた後、固定抵抗7を通じて放電する。この場合蓄えられる電荷が正(+)であるか負(-)であるかは、素子に作用する機械的負荷が正圧(圧縮)方向であるか、負圧(引っ張り)方向であるかにより決定される。コンデンサ6の電気容量と固定抵抗7の電気抵抗により回路の時間定数が決定され、それに伴い放電時間が決定される。図4の8はMosトランジスタを示し、コンデンサ6に蓄えられた電荷エネルギーを電氣量に変換し取り扱いの容易なアナログ電圧として出力する。本発明による圧力検出用単結晶圧電素子センサは上に述べられたチャージアンプに接続されているので圧電素子センサに基準圧力を与え、それに伴って出力する電氣信号を調整すれば圧電素子センサとチャージアンプによる測定系の全体は基準圧力により校正することができる。したがって本圧力センサを燃焼室に直接取り付ければ、燃焼に伴う圧力の変動を圧力に直接比例した電氣信号に変換して出力させることができるのでMPa、barのようなそれぞれの誘導単位の値で計測できる。

【0006】

【実施例】図5は本発明による圧力センサを内燃機関のシリンダヘッド9の燃焼室10に取り付けた状態を示す。本発明による圧力センサは相転移が存在しない圧電素子を使用することにより図5のように圧力センサの感圧部すなわちダイヤフラム3をシリンダヘッド9より燃焼室10内に露出させた状態(フラッシュマウント)で稼動させることができ、燃焼の際に発生する圧力負荷Pを直接圧電素子に伝達することができる。この構成は機械的負荷の変化を極めて短い振動系で伝達するのでセンサ自体の共振周波数が高く、応答速度が速く、広いダイナミックレンジを獲得できる利点がある。したがって圧力ピークの正確な計測と燃焼波形のモニタ、トルク変動の判別が可能になる。燃焼室10内で発生し圧力センサに与える機械的負荷は、燃焼による圧力負荷Pが一番大きいと考えられるが、アイドリング回転時、エンジンブレーキ状態における回転時等では大きな燃焼圧は発生せず吸気、排気の際に発生する圧力変動と区別しにくい。したがって燃焼による圧力変動のみを正確に計測のためにこのシステムでは、クランク軸の回転角を計測して特定の角度においてチャージアンプ回路のリセットと燃焼圧信号の読み込みをするよう回転角検出用ロータリエンコーダ11を備え作動信号を出すようにしている。

【0007】

【発明の効果】本発明による圧力センサは極めて小型で軽量、簡単な構造、耐久性、低価格、さらに高温度の環境下でも冷却等の付加装置を必要とせずに容易に圧力計測ができることを特徴としている。ここで使用される圧力検出用単結晶圧電素子の機械的強度、または耐圧は素子の面積 $10\text{mm}^2$ にたいし $150\text{bar}$ であり、この値は通常排気量 $2000\text{cc}$ 程度の排気量のエンジンにおける燃焼圧に相当する。したがってこの圧力センサは小型化でき、特に取り付け部分のネジ外径はM10相当とすることができ、実際の使用に際してはエンジンのシリンダヘッド部分にM10程度のネジ穴を加工するだけでセンサの取り付けができるため車載の状態でも燃焼室内の燃焼圧の計測、燃焼波形のモニタを行うことができる。本発明による圧力センサは燃焼圧の計測と同時に燃焼波形のモニタが可能なのでこの機能をノッキング検出として使うことができる。すなわちノッキングとは負荷変動に伴うトルク変動に対し点火時期が追従せず燃焼室内で異常燃焼がおこりエンジン全体が異常振動する状態である。従来のノッキング検出は加速度センサにより異常振動を検知するようにしている。しかしエンジン自体はクランク軸やカム軸の回転、それに伴う弁の開閉(打弁振動)、吸気、爆発、排気等常に振動を発生しているため、加速度センサにより異常燃焼による異常振動だけを検出するのは困難である。一般にはクランク軸に回転角エンコーダを取り付けクランク軸角が爆発の行程に入ったタイミングで加速度センサからの信号を受け

取るようにしている。本発明による圧力センサは燃焼波形を直接モニタすることができるのでトルク変動に伴う異常燃焼を燃焼波形の異常として検出します。特に省エネルギーを目的とした希薄燃焼方式の内燃機関においては燃焼圧センサを使ってトルク変動を直接検知し、希薄燃焼限界のためのMBT（最大トルクのための最小進角電気位置）制御を容易におこなうことができる。排気量の増加または加給器付き内燃機など機械的負荷の増加（燃焼圧の増加）に対しては素子面積の拡大、すなわち燃焼圧センサの大型化により対応する必要がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】単結晶圧電素子1に対して圧縮方向の機械的負荷（+F）が作用した場合に素子表面に発生する電荷とその極性+qを示す。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【図2】単結晶圧電素子1に対して引っ張り方向の機械的負荷（-F）が作用した場合に素子表面に発生する電荷とその極性-qを示す。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【図3】本発明における単結晶圧電素子1、電荷qを取り出すための金属薄膜電極2、およびセンサハウジング3の構成を示す。この構成においては2枚の単結晶圧電素子1を向かい合わせ（2枚1組=一对）、金属薄膜電極2を間に挟んで配置しているので圧縮方向の機械的負荷（+F）が作用した場合、それぞれの素子表面に発生した電荷qは2倍の電荷感度で取り出すことができる。すなわち金属薄膜電極2に $2x - q$ の電荷が帯電されればセンサハウジング3には $2x + q$ の電荷が帯電される。

【図4】本発明による圧力検出用単結晶圧電素子センサ1（2枚1組=一对）と電極2により発生した電荷を取り出し取扱の容易なアナログ信号電圧に変換するチャージアンプの構成を示す。チャージアンプはコンデンサ6、固定抵抗7、Mostransistors8により構成する。図では圧電素子センサ1に正の圧力+Fが負荷され、電極2に電荷 $2x - q$ が帯電した状態を示している。

【図5】圧力センサを内燃機関のシリンダヘッド9の燃焼室10に取り付けた状態（フラッシュマウント）、ならびにクランク軸に回転角検出用ロータリエンコーダ10を備えた燃焼圧および燃焼波形検出システムを示す。シリンダヘッド9の燃焼室10において混合気の燃

焼によって燃焼圧力負荷Pが発生し、ピストン12と圧力センサのダイヤフラム3に+Fの圧力が作用した状態を示す。

【図6】圧電素子1に対して圧縮方向の機械的負荷（+F）が作用した場合に素子の側面に発生する電荷とその極性+qおよび反対側の面に発生する電荷の極性-qの状態を示す。学術的には横軸効果による圧電現象と称される。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。ちなみに図1および図2は縦軸効果による圧電現象と称し、電荷は与えられた機械的負荷の合計に直接比例して素子の表面に現れ電荷の量（公称電荷感度）は素子の大きさや形状に関係なくラングサイトにおいて $-8 \text{ pC/N}$ である。これに対し横軸効果による電荷感度は縦軸効果と異なり素子の大きさや形状に関係しX寸法に対するY寸法の比に依存する。一般に横軸効果の電荷感度は縦軸効果に比較し50倍またはそれ以上が得られる。

【図7】圧電素子1に対して引っ張り方向の機械的負荷（-F）が作用した場合に素子の側面に発生する電荷とその極性-qおよび反対側の側面に発生する電荷の極性+qの状態を示す。学術的表現では横軸効果による圧電現象と称される。+X、+Y、+Zは結晶の方位を示す。

【符号の説明】

- 1 単結晶圧電素子
- 2 電極
- 3 ダイヤフラム
- 4 絶縁材
- 5 ハウジング
- 6 コンデンサ
- 7 固定抵抗
- 8 Mostransistors
- 9 内燃機関のシリンダヘッド
- 10 燃焼室
- 11 回転角検出用エンコーダ
- 12 ピストン
- +F 圧縮方向の機械的負荷（この場合主に圧力）が作用した状態
- F 引っ張り方向の機械的負荷（この場合主に圧力）が作用した状態
- +q 正の極性を有する電荷
- q 負の極性を有する電荷
- P 混合気の燃焼によって発生した燃焼圧力負荷